

国家级精品课程教材

天津大学精品教材

材料科学与工程专业系列教材

Principles and Experimental Course on Mechanical Behavior of Materials

材料力学性能 原理与实验教程

主 编 王吉会

副主编 郑俊萍 刘家臣 黄定海

国家级精品课程教材
天津大学精品教材
材料科学与工程专业系列教材

材料力学性能

原理与实验教程

Principles and Experimental Course on
Mechanical Behavior of Materials

主编 王吉会

副主编 郑俊萍 刘家臣 黄定海

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书主要介绍材料在外加载荷或载荷和环境因素(温度、介质和加载速率等)联合作用下表现的变形、损伤与断裂的行为规律及其物理本质和实验测试方法与技术;体现了加强基础、拓宽专业面、注重实践能力、培养综合素质的目标和原则。本书内容包括材料力学性能概论,材料的静载拉伸力学性能,材料在其他载荷下的力学性能(扭转、弯曲、压缩、剪切、硬度、缺口效应、冲击、低温脆性),材料的断裂强度与断裂韧性,材料在变动载荷下的力学性能,材料在环境条件下的力学性能,材料在高温条件下的力学性能,材料的摩擦与磨损性能,材料在纳米尺度下的力学性能,复合材料的力学性能及材料力学性能实验等,第1至10章后附有复习思考题,以便课后的复习、巩固与提高。

本书可作为高等理工科院校材料科学与工程、材料物理、材料化学、功能材料、金属材料工程等材料类专业本科生“材料力学性能”课程的理论与实验教材,同时也可供材料科学与工程专业的研究生及从事材料研究、生产和应用的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学性能原理与实验教程/王吉会主编. —天津:天津大学出版社,2018.3

国家级精品课程教材 天津大学精品教材 材料科学与工程
专业系列教材

ISBN 978-7-5618-6000-7

I. ①材… II. ①王… III. ①材料力学—高等学校—教材 IV. ①TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 311243 号

CAILIAO LIXUE XINGNENG YUANLI YU SHIYAN JIAOCHENG

出版发行 天津大学出版社
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647
网 址 publish.tju.edu.cn
印 刷 天津泰宇印务有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 30.75
字 数 774 千
版 次 2018 年 3 月第 1 版
印 次 2018 年 3 月第 1 次
定 价 66.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

材料的力学性能是关于材料在外加载荷(外力)作用下或载荷和环境因素(温度、介质和加载速率等)联合作用下表现的变形、损伤与断裂的行为规律及其物理本质和实验测试技术的学科。与材料的物理性能、化学性能一样,材料的力学性能是材料科学与工程四大基本要素——材料性能的重要组成部分,是各类材料在实际应用中都必须涉及的共性问题。

但从课程的发展历史看,“材料力学性能”原是金属材料工程专业继“金属学原理”“固态相变原理”等课程之后的专业课程;在无机非金属材料工程专业中,无机材料的力学性能仅是“无机材料物理性能”课程中一章的内容;在高分子材料与工程专业中,聚合物的力学性能则分散在“高分子物理”课程的有关章节中,内容相对较少。

随着材料技术的飞速发展及传统材料产业的不断升级,材料类专业得到不断的重组与优化,不仅有材料科学与工程、材料物理、材料化学、冶金工程、金属材料工程、无机非金属材料、高分子材料与工程、复合材料与工程等主干专业,而且还包括粉体材料科学与工程、宝石及材料工艺学、焊接技术与工程、功能材料、纳米材料与技术、新能源材料与器件等特色专业。而“材料力学性能”课程,则成为材料类专业的学科基础课程。因此,原先作为金属材料工程专业的“材料力学性能”课程教材,显然不能适应材料类专业教学的需要。于是,迫切需要编写出兼顾金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料、纳米材料等力学性能的共性,又能适当反映各自材料力学性能特殊性的《材料力学性能》教材,以适合材料科学与工程一级学科专业教学的需要。

2010年6月,教育部“卓越工程师教育培养计划”在我国理工科高等学校全面铺开,其中以强化工程能力和创新能力为人才培养模式改革的重点,从而全面提高我国工程教育人才的培养质量。从2017年起,又提出了适合未来新兴产业和新经济需要的新工科建设思想,旨在培养出工程实践能力强、创新能力强、具备国际竞争力的高素质复合型“新工科”人才。本教材就是在这一背景下根据材料科学与工程一级学科专业的特点,并本着加强基础、拓宽专业面、注重实践能力、培养综合素质的原则而编写的。

在教材编写过程中,我们重点参考了2006年天津大学出版社出版的《材料力学性能》,同时吸取了近年来在材料科学与工程、材料化学、功能材料等专业

讲授“材料力学性能”课程的体会和经验,并注重打通与前期课程(如“材料力学”“材料科学基础”等)间的联系,构建与同期课程(如“金属学”“材料现代研究方法”“材料物理性能”等)或后期课程(如“腐蚀电化学原理”“高分子物理”“先进结构陶瓷”等)间的有机衔接,尝试总结归纳各类材料力学性能的共性并兼顾各类材料的个性,从而为实现各类材料力学性能的交叉与融合奠定基础。为此,我们调整了课程的教学体系,从材料力学性能概论出发,遵循材料力学性能的定义(材料在外加载荷与环境因素联合作用下的力学行为与机理),按照材料的承载方式、环境因素和特定研究对象,将课程分为静载拉伸力学性能、其他载荷下的力学性能(扭转、弯曲、压缩、剪切、硬度、缺口效应、冲击、低温韧性)、断裂强度与断裂韧性、变动载荷下的力学性能、环境条件下的力学性能、高温条件下的力学性能、摩擦与磨损性能、纳米尺度下的力学性能、复合材料的力学性能等内容;与此同时,优化和更新了教学内容,将微纳材料、复合材料等特定材料的力学性能和研究方法进行单独讲述;不再将金属、陶瓷、高分子等三类材料的力学性能单列成章,而是以材料的力学性能为主线,将三大材料有机地融合到每一章中,并将三类材料的共性与特性进行总结与归纳。此外,为配合课堂理论教学并建立理论与实验相结合的教学需要,将材料力学性能实验部分单独成章,包括实验概述、常规力学性能实验及综合力学性能实验三部分内容,旨在使学生形成完整的、理论与实验相结合的课程体系,掌握材料力学性能的基础理论知识和实验技术,促进学生工程实践能力和创新意识的养成。

本教材是天津大学材料科学与工程专业系列教材之一,由王吉会主编,郑俊萍、刘家臣、黄定海参加编写。教材的编写,得到了天津大学校级精品教材建设项目、天津大学材料科学与工程学院和天津大学出版社的大力支持与热情帮助。在此特向所有支持、帮助和关心本课程建设和教材编写工作的各级领导、专家和同人表示衷心的感谢。

由于材料力学性能涉及的内容和应用领域十分广泛,加之学科新知识不断涌现,而编者的专业范围和知识水平有限,书中难免存在错误和不完善之处,敬请读者批评指正,以便今后及时地加以完善和更新。

编者

2017年9月

目 录

第1章 概 论	1
1.1 材料与材料科学	1
1.1.1 材料的概念与分类	1
1.1.2 材料科学与工程	2
1.2 材料的性能与分析方法	3
1.2.1 材料的性能	3
1.2.2 材料性能分析方法	4
1.3 材料的力学性能	6
1.3.1 材料力学性能的概念与主要指标	6
1.3.2 材料力学性能的研究内容	7
1.3.3 材料力学性能的研究目的和意义	8
1.3.4 材料力学性能的应用举例	9
1.4 课程特点、教学思路与教学安排	10
1.4.1 课程特点	10
1.4.2 教学思路	11
1.4.3 教学安排	12
复习思考题	13
第2章 材料的静载拉伸力学性能	14
2.1 静载拉伸试验	14
2.1.1 应力-应变曲线	14
2.1.2 拉伸强度指标	20
2.1.3 塑性指标及其意义	22
2.2 弹性变形	23
2.2.1 弹性变形及其物理本质	24
2.2.2 弹性性能的工程意义	28
2.2.3 弹性不完整性	32
2.3 塑性变形	37
2.3.1 金属材料的塑性变形机制与特点	37
2.3.2 屈服现象及其本质	38
2.3.3 真实应力-应变曲线及形变强化规律	40
2.3.4 陶瓷材料的塑性变形	44
2.4 材料的断裂	47

2.4.1 金属材料的断裂	48
2.4.2 陶瓷材料的断裂	56
2.4.3 高分子材料的断裂	56
复习思考题	60
第3章 材料在其他载荷下的力学性能	63
3.1 应力状态系数和力学状态图	64
3.1.1 应力状态系数	64
3.1.2 力学状态图	65
3.2 材料的扭转、弯曲、压缩和剪切	67
3.2.1 材料的扭转	67
3.2.2 材料的弯曲	70
3.2.3 材料的压缩	73
3.2.4 材料的剪切	75
3.2.5 几种静载试验方法的比较	76
3.3 材料的硬度	77
3.3.1 硬度的概念与分类	77
3.3.2 布氏硬度	78
3.3.3 洛氏硬度	82
3.3.4 维氏硬度	85
3.3.5 显微硬度	87
3.3.6 肖氏硬度	88
3.3.7 莫氏硬度	89
3.3.8 常用材料的硬度	89
3.3.9 硬度与其他力学性能指标的关系	90
3.4 缺口试样的力学性能	91
3.4.1 缺口效应	91
3.4.2 缺口试样力学性能试验	96
3.5 材料在冲击载荷下的力学性能	102
3.5.1 加载速率与应变速率	102
3.5.2 冲击载荷的能量性质	102
3.5.3 冲击载荷下材料的变形与断裂的特点	103
3.5.4 缺口试样的冲击试验与冲击韧性	103
3.5.5 冲击试样断裂过程分析	108
3.5.6 冲击试验的应用	109
3.6 材料的低温脆性	110
3.6.1 低温脆性的现象	110
3.6.2 低温脆性的本质	112
3.6.3 低温脆性的评定	112
3.6.4 低温脆性的影响因素	119
复习思考题	124

第4章 材料的断裂强度与断裂韧性	126
4.1 断裂强度	126
4.1.1 理论断裂强度	127
4.1.2 宏观缺陷的影响	129
4.1.3 Griffith 断裂理论	130
4.1.4 Orowan 修正	132
4.1.5 Griffith 裂纹	133
4.2 裂纹及其顶端的应力场	134
4.2.1 裂纹的来源及分类	134
4.2.2 裂纹体理论概述	136
4.2.3 裂纹顶端的应力场	137
4.3 应力强度因子	142
4.3.1 应力强度因子的概念及意义	142
4.3.2 常见裂纹的应力强度因子	143
4.4 应力强度因子的塑性区修正	146
4.4.1 裂纹顶端的塑性区	146
4.4.2 有效屈服应力与塑性约束系数	149
4.4.3 应力松弛对塑性区的影响	149
4.4.4 应力强度因子的塑性区修正	150
4.4.5 小范围屈服与线弹性断裂力学的适用范围	152
4.5 应力强度因子断裂准则	153
4.5.1 断裂准则与断裂韧性	153
4.5.2 应用举例	154
4.6 断裂韧性的测试	156
4.6.1 金属材料的平面应变断裂韧性	156
4.6.2 陶瓷材料的平面应变断裂韧性	160
4.7 断裂强度的统计性质	161
4.7.1 断裂强度波动的分析	161
4.7.2 断裂强度的统计分析	162
4.7.3 应力函数的求法及韦伯函数分布	163
4.7.4 韦伯函数中 m 及 σ_0 的求法	164
4.7.5 有效体积的计算	164
4.7.6 韦伯统计的应用与实例	164
4.8 断裂韧性的影响因素、估算与提升措施	166
4.8.1 断裂韧性的影响因素	166
4.8.2 断裂韧性的估算	170
4.8.3 断裂韧性的提升措施	172
复习思考题	175
第5章 材料在变动载荷下的力学性能	178
5.1 变动载荷(应力)和疲劳破坏的特征	178

5.1.1	变动载荷(应力)及其描述参量	178
5.1.2	疲劳的分类、特点及断口特征	179
5.2	高周疲劳	182
5.2.1	疲劳曲线和疲劳极限	182
5.2.2	不对称循环应力下的 $S-N$ 曲线和疲劳极限	188
5.2.3	疲劳缺口敏感度	190
5.2.4	变幅应力与疲劳累积损伤	192
5.3	低周疲劳、热疲劳与冲击疲劳	193
5.3.1	低周疲劳的特点	194
5.3.2	循环硬化和循环软化	195
5.3.3	循环应力-应变曲线与应变-寿命曲线	196
5.3.4	热疲劳与冲击疲劳	198
5.4	疲劳裂纹扩展	199
5.4.1	疲劳裂纹扩展试验	200
5.4.2	疲劳裂纹扩展速率	201
5.4.3	疲劳裂纹扩展速率的影响因素	202
5.4.4	疲劳裂纹扩展寿命的估算	204
5.5	疲劳裂纹的萌生与扩展机理	205
5.5.1	疲劳裂纹的萌生	206
5.5.2	疲劳裂纹扩展的方式和机理	208
5.6	疲劳强度的影响因素与改善措施	209
5.6.1	疲劳强度的影响因素	209
5.6.2	疲劳强度的改善措施	210
5.7	聚合物的疲劳	211
5.7.1	聚合物的 $S-N$ 曲线和疲劳热破坏	211
5.7.2	聚合物的疲劳强度	212
5.7.3	聚合物的疲劳裂纹扩展	212
5.8	陶瓷材料的疲劳	213
5.8.1	静疲劳	214
5.8.2	循环应力疲劳	215
	复习思考题	215
第6章	材料在环境条件下的力学性能	217
6.1	应力腐蚀断裂	218
6.1.1	应力腐蚀断裂的特征	218
6.1.2	典型材料的应力腐蚀	220
6.1.3	应力腐蚀断裂的测试方法与评价指标	221
6.1.4	应力腐蚀断裂的影响因素	226
6.1.5	应力腐蚀断裂的机理	228
6.1.6	应力腐蚀断裂的防护措施	230
6.2	氢致断裂	231

6.2.1	金属中的氢	231
6.2.2	氢致断裂的类型和特征	231
6.2.3	氢致滞后断裂的机理	233
6.2.4	氢致断裂与应力腐蚀断裂的关系	234
6.2.5	氢致断裂的测试与评价	236
6.2.6	氢致断裂的防护措施	237
6.3	腐蚀疲劳断裂	237
6.3.1	腐蚀疲劳断裂的特点	237
6.3.2	腐蚀疲劳断裂的机制	239
6.3.3	腐蚀疲劳裂纹的扩展速率	240
6.3.4	腐蚀疲劳的影响因素	241
6.3.5	腐蚀疲劳的防护措施	243
6.4	腐蚀磨损脆性	244
6.4.1	腐蚀磨损脆性的现象和特点	244
6.4.2	腐蚀磨损脆性的机制	245
6.4.3	典型材料的腐蚀磨损脆性	246
6.4.4	腐蚀磨损脆性的测试方法与评价指标	251
6.4.5	腐蚀磨损脆性与应力腐蚀、氢脆、腐蚀疲劳的关系	253
6.4.6	腐蚀磨损脆性的防护措施	254
6.5	辐照脆性	255
6.5.1	辐照损伤	255
6.5.2	辐照效应	256
6.5.3	辐照致脆机理	259
6.5.4	辐照损伤的回复与控制	261
6.6	液(固)态金属脆性	262
6.6.1	金属脆性的现象和特征	262
6.6.2	典型材料的金属脆性	263
6.6.3	金属脆性的机制	266
6.7	无机材料的环境脆性	268
6.7.1	无机材料环境脆性的现象和特点	268
6.7.2	玻璃和陶瓷材料的环境脆性	269
6.7.3	无机材料环境脆性的裂纹扩展速率	271
6.7.4	无机材料的环境脆性机制	273
6.8	聚合物的环境脆性	274
6.8.1	水性介质中聚合物的环境脆性	274
6.8.2	有机溶剂体系中聚合物的环境应力开裂	276
	复习思考题	278
第7章	材料在高温条件下的力学性能	281
7.1	高温与高温力学性能的特点	281
7.1.1	高温的概念	281

7.1.2	高温力学性能的特点	281
7.2	材料的蠕变	282
7.2.1	蠕变曲线	282
7.2.2	蠕变机制	285
7.2.3	蠕变极限	289
7.2.4	持久强度与持久塑性	290
7.2.5	蠕变的影响因素	292
7.3	应力松弛	295
7.3.1	应力松弛现象	295
7.3.2	应力松弛稳定性	296
7.4	高温疲劳及疲劳与蠕变的交互作用	298
7.4.1	基本加载方式和 $\sigma - \varepsilon$ 曲线	298
7.4.2	高温疲劳的一般规律	298
7.4.3	疲劳与蠕变的交互作用	301
7.5	高温热暴露	303
7.5.1	热暴露评定指标	303
7.5.2	热暴露的特点	303
7.5.3	热暴露的影响因素	304
7.5.4	热暴露机理	305
7.6	陶瓷材料的抗热震性	305
7.6.1	热震断裂	306
7.6.2	热震损伤	307
7.6.3	热震寿命	307
	复习思考题	309
第8章	材料的摩擦与磨损性能	311
8.1	材料的表面形态与接触	311
8.1.1	表面形貌参数	311
8.1.2	材料的表面结构和表面性质	315
8.1.3	粗糙表面的接触	317
8.2	材料的摩擦	320
8.2.1	摩擦的概念与分类	320
8.2.2	经典摩擦理论	321
8.2.3	分子-机械摩擦理论	322
8.2.4	黏着摩擦理论	324
8.3	材料的磨损	328
8.3.1	磨损的概念与分类	328
8.3.2	磨损过程	329
8.3.3	黏着磨损	331
8.3.4	磨粒磨损	334
8.3.5	疲劳磨损	340

8.3.6	腐蚀磨损	344
8.3.7	冲蚀磨损与微动磨损	346
8.4	摩擦磨损的测试方法	350
8.4.1	摩擦磨损测试仪器	350
8.4.2	摩擦磨损的测量与评定	352
8.5	摩擦磨损的控制	355
8.5.1	润滑剂的使用	355
8.5.2	摩擦副材料的选择	356
8.5.3	材料的表面改性与强化处理	357
	复习思考题	359
第9章	材料在纳米尺度下的力学性能	361
9.1	纳米科技概述	361
9.1.1	纳米科技的概念	361
9.1.2	纳米科技的内涵	362
9.2	纳米力学测试技术	363
9.2.1	扫描隧道显微镜	363
9.2.2	原子力显微镜	365
9.2.3	扫描探针显微镜	366
9.2.4	纳米硬度计	367
9.3	纳米材料的力学性能	369
9.3.1	概述	369
9.3.2	纳米金属材料的力学性能	373
9.3.3	纳米陶瓷材料的力学性能	376
9.3.4	纳米碳管的力学性能	377
9.3.5	聚合物单分子链的力学性能	385
9.4	纳米摩擦、磨损与加工	388
9.4.1	纳米摩擦	388
9.4.2	纳米磨损	392
9.4.3	纳米加工	393
	复习思考题	394
第10章	复合材料的力学性能	395
10.1	复合材料的概念与性能特点	395
10.1.1	复合材料的定义与分类	395
10.1.2	复合材料的性能特点	397
10.2	单向连续纤维复合材料的力学性能	398
10.2.1	单向连续纤维复合材料的弹性性能	398
10.2.2	单向连续纤维复合材料的强度	404
10.3	短纤维复合材料的力学性能	408
10.3.1	应力传递理论	408
10.3.2	短纤维复合材料的弹性模量	411

10.3.3	短纤维复合材料的强度	412
10.4	复合材料的断裂、冲击与疲劳性能	413
10.4.1	复合材料的断裂过程与能量分析	413
10.4.2	复合材料的冲击性能	417
10.4.3	复合材料的疲劳性能	418
	复习思考题	420
第11章	材料力学性能实验	422
11.1	力学性能实验概述	422
11.2	常规力学性能实验	424
11.2.1	材料的静载拉伸实验	424
11.2.2	材料的弹性模量实验	427
11.2.3	材料的扭转实验	429
11.2.4	材料的弯曲实验	432
11.2.5	材料的压缩实验	435
11.2.6	材料的硬度实验	438
11.2.7	材料的冲击实验	443
11.2.8	材料的平面应变断裂韧性实验	448
11.2.9	材料的疲劳实验	450
11.2.10	材料的应力腐蚀实验	453
11.2.11	材料的蠕变实验	456
11.2.12	材料的摩擦与磨损实验	459
11.3	综合力学性能实验	461
11.3.1	碳化硅增强铝基复合材料的力学性能实验	461
11.3.2	材料失效案例分析实验	465
11.3.3	典型零件的材料选择、结构设计与应用实验	467
	附录	471
附录1	材料力学性能中的常用单位换算表	471
附录2	常用材料的力学性能	472
附录3	部分材料的平面应变断裂韧性 K_{IC}	473
附录4	部分工程材料的疲劳门槛值 ΔK_{th}	474
	参考文献	475

第 1 章 概 论

在人类历史发展的进程中,“材料”一直占有十分重要的地位。历史学家曾用材料来划分时代,如石器时代、陶器时代、青铜器时代、铁器时代以及聚合物时代、半导体时代、复合材料时代等,可见材料在人类文明发展中所起的重要作用。每一种重要新材料的发现和应,都把人类支配自然的能力提高到一个新的水平,给社会生产和人们生活带来巨大的变化,把人类物质文明推向前进。这充分说明材料是人类赖以生存和发展、征服自然和改造自然的物质基础与先导,是人类社会进步的里程碑。

在科学技术迅猛发展的今天,材料仍然是现代文明的一个重要标志。20 世纪 70 年代,人们把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱;80 年代以后,以高技术群为代表的新技术革命,又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。这主要是因为材料尤其是新型材料或先进材料的研究、开发与应用反映了一个国家科学技术与工业发展的水平,密切关系到与国民经济建设、国防建设和人民的生活。可以说,人类生活在材料的世界中,无论是经济活动、科学技术、国防建设,还是人们的衣食住行都离不开材料。如果没有半导体材料,就不会有今天的信息社会;如果没有高温、高比强(刚)度的材料,就不会有今天的航空航天技术等。

总之,材料对社会发展的作用和重要性,任何时候都不会下降;相反,随着科学技术的不断进步,材料的种类越来越丰富,材料的性能逐步得到提高,材料的应用越来越广泛,因此可以说人类进入了一个材料革命的新时代。

1.1 材料与材料科学

1.1.1 材料的概念与分类

1. 材料的概念

虽然“材料”这个名词早已存在,但很难给它下一个确切的定义;或者说可以用多种不同的表达方式来说明材料。如材料是用来制造器件的物质;材料是经过工业加工的采掘工业、农业的劳动对象,等等。但目前普遍接受的定义是由肖纪美先生提出的观点:材料是人类社会所能接受的、经济地制造有用器件的物质。

由材料的定义可见,材料是物质,但不是所有的物质都可以称为材料。如燃料和化学原料、工业化学品、食物和药物,一般都不算是材料。但是这个定义并不那么严格,如炸药、固体火箭推进剂,一般称为“含能材料”,因为它们属于火炮或火箭的组成部分。

材料这种物质与其他类物质的差异如下。

①从材料与环境(资源、能源、环保)的关系看,材料是人类社会所能接受的物质,即材

料的生产 and 应用需要受到材料资源、能源和环境保护等方面的约束和限制,即资源判据、能源判据和环保判据。

②材料的生产 and 应用,必须先进行成本分析和经济核算,以提高社会的经济效益(经济判据)。

③从技术的角度来看,材料能用来制造有用的器件(质量判据),即材料应具有良好的工艺性能(制造)和能为人类服役的使用性能(有用)。

因此,作为材料的物质必须具备如下的特点。

①一定的组成和配比。因为材料或器件的使用性能,主要取决于组成的化学物质及各成分之间的配比。

②成型加工性。作为器件应具有一定的形状和结构特征,而形状和结构特征需要通过成型加工来获得。因此,作为材料必须具备在一定温度和一定压力下可对其进行成型加工,并制造成某种形状的能力。不具备成型加工性,就不能成为有用的材料。

③形状保持性。任何器件都以一定的形状出现,并在该形状下使用。因此,材料应有在使用条件下,保持既定形状并可供实际使用的能力。

④经济性。制得的器件应质优价廉,富有竞争性,必须在经济上易于为社会和人们所接受。

⑤回收和再生性。这是作为绿色产品、符合人类可持续发展战略所必需的,并应满足已经确定的社会规范、法律等。随着资源的枯竭、环境的破坏,对材料制品的回收并再利用是必需的。这是材料的开发者在研究中必须首先加以注意并考虑的。严重污染环境、不能回收再生的制品,一开始就不能生产。

2. 材料的分类

目前,世界上材料已有几十万种,而材料的新品种正在以每年大约 5% 的速率增长。由于材料的多样性,其分类方法也就没有一个统一的标准。如按材料的来源,材料可分为天然材料(石料、木料等)和人造材料(钢铁、合成纤维等)两类。如按用途,材料可分为电子材料、航空航天材料、核材料、建筑材料、能源材料、生物材料等。另外,材料还可分为传统材料与新型材料。传统材料是指那些已经成熟且在工业中已批量生产并大量应用的材料,如钢铁、水泥、塑料等;新型材料(先进材料)是指那些正在发展,且具有优异性能和应用前景的一类材料等。

通常,材料是按化学组成和结构特点进行分类的,可分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料等四大类。每一类又可分为若干小类,如金属材料可分为黑色金属材料、有色金属材料和特种金属材料等;无机非金属材料又可分为陶瓷、玻璃、水泥和耐火材料等;高分子材料又可分为塑料、橡胶、纤维等。

1.1.2 材料科学与工程

随着各类材料的大规模应用与发展,对材料本身如材料的制备、结构与性能以及它们之间的相互关系的研究越来越深入;同时,随着物理学、化学、冶金学、金属学、陶瓷学、高分子化学等基础学科理论体系的完善和交叉融合,也使得人们对材料的本质和共性有了更深层次的理解。于是在 20 世纪 60 年代初,针对材料发展的需要和共性问题,提出了“材料科学”的概念,随后又提出了“材料科学与工程”。

材料科学与工程是关于材料成分、结构、制备工艺与材料性能和用途之间相互关系的知

识开发和应用的学科。换言之,材料科学与工程是研究材料组成、结构、生产过程、材料性能与使用性能以及它们之间的关系。因而,常把成分/结构(Composition/Structure)、合成/加工(Synthesis/Processing)、性质(Properties)及使用效能(Performance)称为材料科学与工程四个基本要素。把这四个要素连接在一起,便形成一个四面体,如图1-1(a)所示。

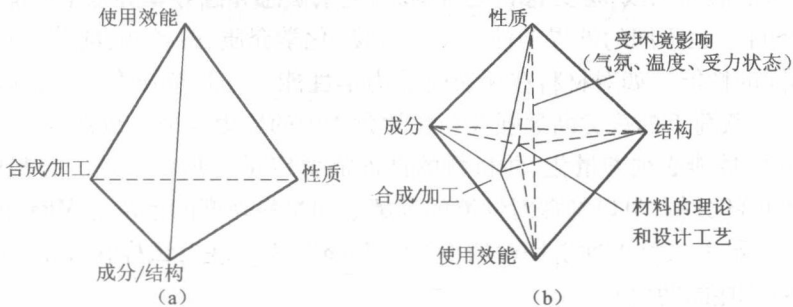


图 1-1 材料科学与工程的基本要素

(a)材料科学与工程四要素图 (b)材料科学与工程五要素图

在四要素的基础上,又有人将材料的成分和结构分开,提出了五要素模型,即成分(Composition)、合成/加工(Synthesis/Processing)、结构(Structure)、性质(Properties)和使用效能(Performance)。如果把它们连接起来,并考虑到材料的理论和设计工艺,则形成一个六面体,如图1-1(b)所示。

在材料科学与工程的基本要素中,材料的成分与结构是指材料的原子类型和排列方式;合成与制备(或加工)是指实现特定原子排列的演变过程;性质是指对材料功能特性和效用(如电、磁、光、热、力学等性质)的定量度和描述;使用效能是指材料性质在使用条件(如受力状态、气氛、介质与温度等)下的表现。在基本要素之间,材料的性质和使用效能取决于材料的成分和结构,而材料的成分和结构则受到材料合成与制备(加工)的控制。当然,材料的性质和使用效能反过来又能促进材料成分和结构的设计以及材料合成与制备(加工)工艺的选择。材料的理论和设计工艺就是通过理论模型进行材料设计或工艺设计,即通过优化材料配方和采用最佳工艺,制备出符合要求的材料或器件,以达到提高材料的性能及使用效能的目标。

1.2 材料的性能与分析方法

1.2.1 材料的性能

人类之所以对材料感兴趣,首先是因为材料具有对人类有用的性能。因此,在材料科学与工程研究中必须十分重视对材料性能的研究,否则材料将会被淘汰。

1. 材料性能的概念

材料的性能是一种参量,用于表征材料在给定外界条件下的行为,即作为材料最基本条件的性能必须量化,需要从行为的过程去深入理解性能,重视环境对性能的影响。

(1)行为 行为是从一个状态到另一个状态的过程。材料的性能,有些只与状态有关,而与达到这个状态的过程无关,如力学中的势能和热学中的熵等;而另一些性能则与达到这

个状态的过程有关,如力学中的功和热学中的热量等。它们分别称为状态性能和过程性能。

通过对材料行为的研究,可以理解材料的性能并定义材料的性能指标。如通过对材料在外力作用下室温拉伸行为中的应力-应变曲线,采用屈服、颈缩和断裂等行为的判断,定义出材料的屈服强度、抗拉强度和断裂强度等力学性能。又如可通过对材料在外磁场下磁化和退磁行为中的磁滞回线,定义材料的矫顽力、剩余磁感和磁导率等磁学性能。

(2)外界条件 在不同的外界条件(应力、温度、化学介质、磁场、电场、辐照等)下,同一材料也会有不同的性能。如对材料在断裂时的力学性能——断裂强度而言,在高温下的蠕变断裂强度、变动载荷下的疲劳断裂强度和化学介质中的应力腐蚀断裂强度是大不相同的。

(3)参量化 性能必须参量化,即材料的性能需要定量地加以表述。材料的性能都有单位,通过对单位的分析,可以加深对性能的理解。如材料强度的单位为 MPa (N/m^2),表示单位面积上能承受的力;又如冲击韧性的单位为 J/cm^2 ,表示缺口试样在冲击载荷下单位截面积(cm^2)上所消耗的功(J)。

2. 材料性能的分类

由于材料种类、结构和制备工艺的不同,材料的性能也有很大的区别。通常,将材料的性能分为简单性能和复杂性能。简单性能可分为物理性能、力学性能和化学性能;复杂性能可分为复合性能、工艺性能和使用性能,如图 1-2 所示。

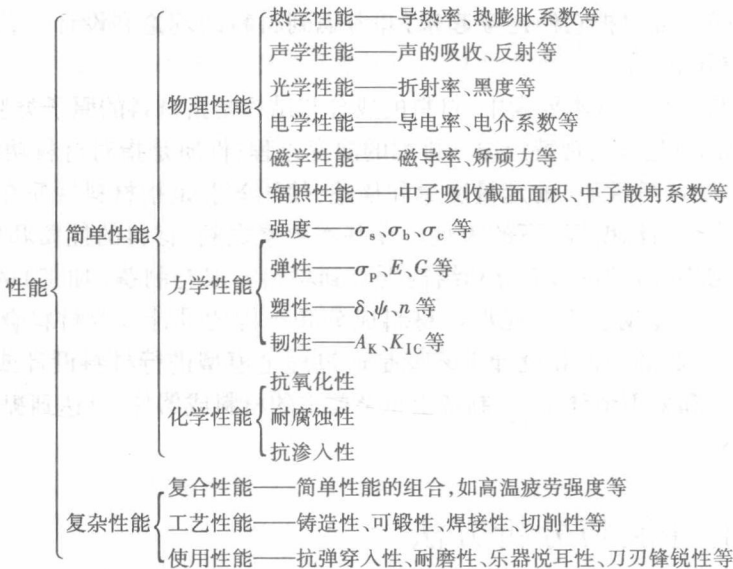


图 1-2 材料性能的分类

与材料性能的分类相呼应,还可按材料的性能区分材料,如以力学性能为主的材料称为结构材料,而以物理和化学性能为主的材料称为功能材料。其中的物理性能,包括声学、热学、光学、电学、磁学、辐射等性能。

1.2.2 材料性能分析方法

由于材料的性能取决于材料的成分和结构,并受到外界条件的影响,因而对材料性能的分析,会有如下四种不同的方法:若不知材料的结构,材料是黑箱,可用黑箱法;若材料的结构部分已知或全部已知,可用相关法(灰箱法)和过程法(白箱法);如考虑外界环境条件的